

## Двухкоординатная система автоматического управления подачей топлива в ГТД<sup>1</sup>

Денисова Е.В., Насибуллаева Э.Ш., Черникова М.А.

Институт механики им. Р.Р. Мавлютова УНЦ РАН, Уфа

Показана возможность повышения качества управления частотой вращения ротора газотурбинного двигателя за счет введения двухкоординатного агрегата дозирования топлива. Введение двух управляемых сигналов на дозирующую иглу и на клапан постоянного перепада позволит конструктивно осуществить «грубое» и «тонкое» управления величиной расхода топлива при сохранении заданной точности по частоте вращения.

### 1. Введение

В системах автоматического управления (САУ) газотурбинными двигателями топливные агрегаты выполняют двойную роль — обеспечивают топливом двигательную установку и, одновременно, дозируют его по команде бортового компьютера в зависимости от режима работы и условий применения.

В настоящее время ведутся интенсивные разработки авиационных двигателей нового поколения для летательных аппаратов различного назначения, в том числе и для беспилотных, которые должны обладать повышенным эксплуатационным ресурсом. Обеспечение высоких тактико-технических требований к двигателям новых схем возможно только при наличии современной системы управления, одним из элементов которой является агрегат дозирования топлива (АДТ).

Появление новых поколений двигателей, введение в контур управления современных вычислительных комплексов поставили перед разработчиками САУ следующую проблему: характеристики управляющей (электронной) и исполнительной (гидромеханической) частей системы должны быть согласованы или хотя бы не противоречить друг другу. Существенным недостатком современных систем автоматического управления подачей топлива в ГТД является нестабильность статистических и динамических характеристик АДТ. Это происходит вследствие естественного разброса параметров, обусловленного недостаточной точностью

изготовления устройства дозирования топлива, изменением вязкости топлива при изменении температуры, а также вследствие других причин, таких как старение, износ материалов, что в совокупности приводит к повышению расхода топлива. Диапазон управления подачей топлива снижается из-за механического ограничения регулировочных отверстий в элементах топливной автоматики.

Известно, что количество топлива, поступающего в двигатель, зависит от двух величин: от проходного сечения дозирующей иглы и от перепада давления на клапане постоянного перепада.

Ранее управление расходом топлива  $Q_T$  производилось за счет перемещения сервопоршня агрегата дозирования топлива, что приводило только к изменению проходного сечения иглы, и, как следствие, приводило к ошибке управления по частоте вращения, в силу изменения и перепада давлений на ее сечении.

С целью повышения качества управления САУ ГТД предлагается использовать оба перечисленных параметра: как изменение проходного сечения, так и изменение перепада давления на кромке дроссельной иглы или за счет управления положением поршня клапана постоянного перепада, причем выбор конкретного управляющего параметра производится по отклонению частоты вращения ротора ГТД от заданного значения, т.е. по ошибке управления.

### 2. Постановка задачи

Ранее система автоматического управления газотурбинным двигателем имела вид, представленный на рис. 1, основными элементами которой являются ЭР — электронный регулятор, ОУ — объ-

<sup>1</sup>Работа выполнена при финансовой поддержке Программы № 1 фундаментальных исследований ОЭММПУ РАН (проект «Научные основы робототехники и мехатроники») и РФФИ (гранты № 11-08-97046, 11-08-00823).

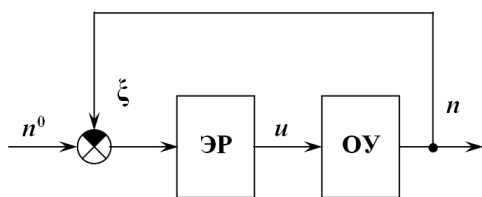


Рис. 1. Структурная схема САУ ГТД

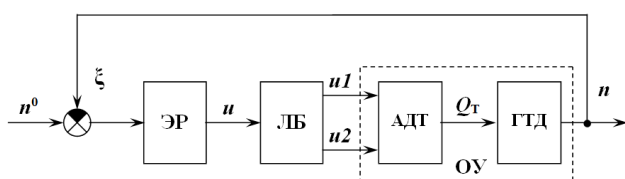


Рис. 2. Усовершенствованная схема САУ ГТД

ект управления. На вход системы поступает входной сигнал  $n^0$ , на выходе системы формируется выходной сигнал  $n$ , на вход электронного регулятора поступает сигнал ошибки  $\xi$ , полученный за счет рассогласования входного сигнала с выходным сигналом системы. На выходе электронного регулятора формируется управляющий сигнал, который поступает на вход ОУ.

В рассмотренной выше системе автоматического управления ГТД предлагается разделить объединенный ОУ на агрегат дозирования топлива и газотурбинный двигатель, а управляющий сигнал  $u$  — разделить на два сигнала: по изменению проходного сечения  $u1$  и изменению перепада давления  $u2$  (рис. 2). По ошибке управления  $\xi = n^0 - n$  формируется сигнал с выхода ЭР, который поступает или на сервопоршень дроссельной иглы, или на клапан постоянного перепада давления. Выбор конкретного сигнала осуществляет логический блок (ЛБ).

Известно, что конструктивно АДТ состоит из нескольких основных элементов: сервопоршня 1, дроссельной иглы 2, клапана постоянного давления (КПД), клапана постоянного перепада 3 (КПП), распределительного клапана и др. элементов (рис. 3), если они необходимы для функционирования системы топливопитания.

Предлагаемое устройство работает следующим образом. Электронный регулятор режима работы двигателя формирует два управляющих сигнала  $u1$  и  $u2$ , поступающие на электромагнитные клапаны (ЭМК 1 и ЭМК 2) соответственно через логический блок (ЛБ). ЭМК 1 открывает (или закрывает) заслонку, изменяя площадь слива  $s_{сл,1}$  в левой полости сервопоршня дроссельной иглы; ЭМК 2 открывает

(или закрывает) заслонку, изменяя площадь слива  $s_{сл,3}$  в левой полости КПП.

Для определенности положим, что левая заслонка закрыта на какой-то момент времени (устройство работает в режиме широтно-импульсной модуляции). В этом случае давление  $P_1$  постепенно возрастает до величины  $P_{кпд} = \text{const}$ , и сервопоршень начинает перемещаться вправо по схеме (стрелка под  $x$  показывает направление перемещения сервопоршня). Одновременно с сервопоршнем перемещается дроссельная игла, изменяя свое проходное сечение  $s_{ди}(x)$ .

Таким образом, устанавливается связь между управляющим сигналом проходного сечения  $u1$  и перемещением сервопоршня дроссельной иглы  $x$ .

Далее, от насоса (или качающего узла) приходит расход топлива  $Q_H$ , прямо пропорциональный частоте вращения ротора турбокомпрессора  $n$ , т.е.  $Q_H = k \cdot n$ . При условии, что  $n = \text{const}$  на заданном режиме работы, получаем, что  $Q_H = \text{const}$ , но при этом давление  $P_H$  является переменной величиной и зависит от положения иглы. Если дроссельная игла перемещается на закрытие (вправо по схеме), то  $P_H$  возрастает, и наоборот. При этом давление в правой полости иглы ( $P_{рк}$  — давление перед распределительным клапаном) остается без изменения. Следовательно, перепад давлений ( $P_H - P_{рк}$ ) начинает изменяться. В случае нерегулируемого КПП перепад ( $P_H - P_{рк}$ ) постепенно устанавливается постоянной величиной при условии, что поршень КПП может перемещаться в зоне регулировочного отверстия. В противном случае, если поршень КПП вышел из зоны управления, то перепад давлений ( $P_H - P_{рк}$ ) изменяется, что, в свою очередь, изменяет и расход топлива в двигатель. Ошибка управления накапливается.

В случае работы двигателя на предельно допустимых режимах поршень КПП может выйти из зоны управления. Во избежание подобного факта и предлагается ввести управление подачей топлива по двум координатам следующим образом. Пока ошибка управления не достигнет точки А (рис. 4), ЛБ подает сигнал на ЭМК 1, который открывает и закрывает заслонку в режиме широтно-импульсной модуляции, т.е. происходит решение задачи управления по положению сервопоршня дроссельной иглы  $x$  в левой части схемы (рис. 3). Происходит достаточно быстрое уменьшение ошибки  $\xi$  в Зоне 1. Это так называемое «грубое» управление по положению сервопоршня. При снижении ошибки до критического значения (до точки А) ЛБ передает управление на ЭМК 2, который открывает и закрывает заслонку в режиме широтно-импульсной модуляции. В этом случае в Зоне 2 ошибка стремится

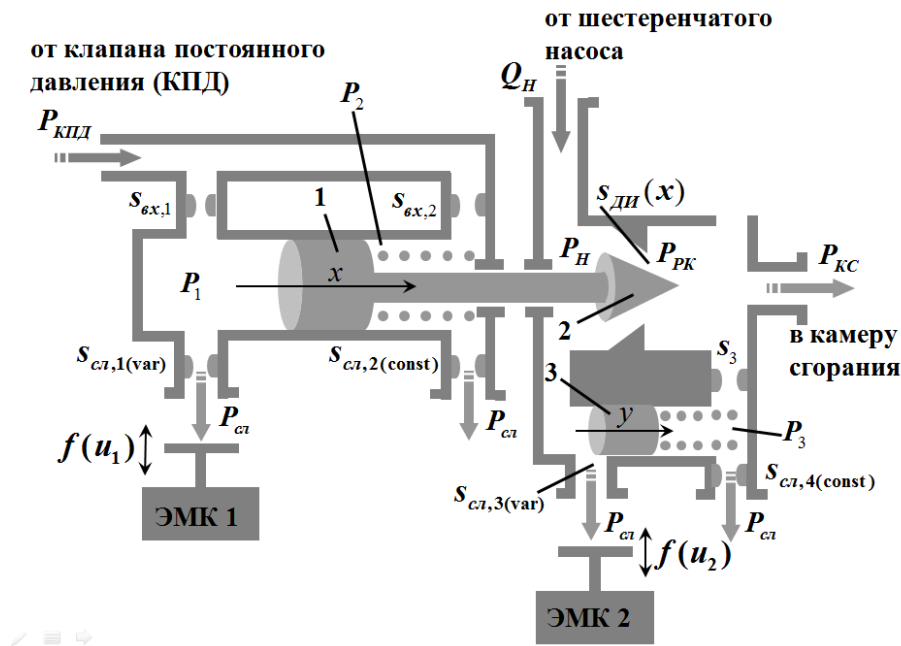
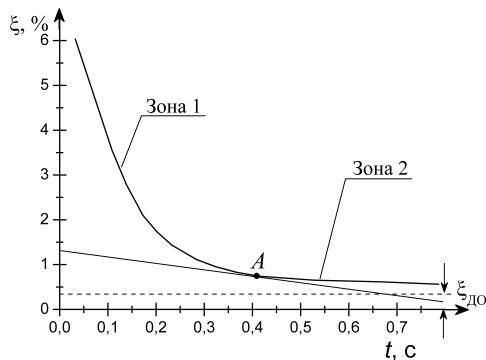


Рис. 3. Конструктивная схема АДТ

Рис. 4. График ошибки частоты вращения ротора газотурбинного двигателя ( $\xi_{до} \approx 0.3\%$  от текущего значения по частоте вращения ротора)

ся к допустимой  $\xi_{до}$  медленно. Таким образом осуществляется «тонкое» управление по перепаду давлений. По сигналу системы автоматического управления, в случае возникновения аварийной ситуации, ЛБ подает сигналы на ЭМК 1 и ЭМК 2 одновременно, открываются оба слива и топливо сливается из АДТ.

### 3. Выводы

Показана возможность повышения качества управления частотой вращения ротора газотурбинного двигателя за счет введения двухкоординатного агрегата дозирования топлива.

Введение двух управляемых сигналов на дозирующую иглу и на клапан постоянного перепада позволит конструктивно осуществить «грубое» и «тонкое» управление величиной расхода топлива при сохранении заданной точности по частоте вращения.

Для того чтобы осуществить «грубое» и «тонкое» управление используется график ошибки частоты вращения ротора газотурбинного двигателя, где части графика, обозначенные «Зона 1» и «Зона 2», осуществляют управление соответственно. Такое управление позволяет увеличить эффективность управления подачей топлива, что в свою очередь приведет к повышению качества управления всей системы в целом.

### Список литературы

- [1] Денисова Е.В., Насибуллаева Э.Ш. Моделирование задачи функционирования агрегата дозирования топлива // Труды Института механики УНЦ РАН. Вып. 7 / Под ред. С.Ф. Урманчеева. Уфа: Гилем, 2010. С. 118–128.